

اثر متقابل سمیت بور و پایه بر رشد، شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی درخت بادام

مهدی اورعی^۱، سید جلال طباطبایی^{۲*}، علی ایمانی^۳ و اسماعیل فلاحی^۴

تاریخ دریافت: 88/6/15 تاریخ پذیرش: 89/3/16

1- دانشجوی دکترای علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

3- استادیار موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

4- استاد میوه‌کاری دانشگاه آیداهو آمریکا

*مسئول مکاتبه E-mail : tabatabaei@tabrizu.ac.ir

چکیده

سمیت بور یک عارضه مهم است که می‌تواند رشد گیاهان را در نواحی خشک و نیمه خشک محدود نماید. استفاده از پایه‌های متحمل که مانع از جذب یا انتقال بور به قسمت‌های هوایی گیاهان می‌شوند، سمیت بور در پیوندک را کاهش داده و به تبع آن تحمل مقادیر بیش از حد بور در منطقه ریشه افزایش می‌یابد. بدین منظور، جهت ارزیابی اثر متقابل سمیت بور و پایه بر رشد رویشی، شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی بادام (*Prunus dulcis* Mill.) رقم فراگنس، آزمایشی با سه سطح بور (0، 20 و 10) و دو پایه بادام (جی اف-677 و توانونو) به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در محیط بدون خاک و تحت شرایط کنترل شده به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که سمیت بور اثرات کاهشی معنی‌داری بر خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر غذایی بادام داشت، هر چند شدت این اثرات بر حسب نوع پایه متفاوت بود. با افزایش سطوح بور، وزن تر و خشک برگ و ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، شدت فتوسنتز و شاخص کلروفیل کاهش یافت. افزایش سطوح بور با کاهش غلظت نیتروژن، نیترات، فسفر، پتاسیم و افزایش غلظت بور در برگ همراه بود. ارتباط نزدیک میان غلظت بور شاخه و گسترش سمیت بور در پایه‌ها، حاکی از آن است که پایه توانونو از طریق مکانیسم تدافعی نظیر ایجاد محدودیت در انتقال بور از سیستم ریشه به قسمت‌های هوایی، تحمل بالاتری نسبت به جی اف-677 داشته و تحت شرایط مقادیر بیش از حد بور می‌تواند از آن به عنوان یک پایه متحمل برای ارقام مختلف بادام استفاده کرد.

واژه های کلیدی: بادام، ترکیب پایه - پیوندک، سمیت بور، فتوسنتز

Interactive Effect of Boron Toxicity and Rootstock on the Growth, Photosynthetic Rate and Nutrient Concentrations of Almond Tree

M Oraei¹, SJ Tabatabaei^{2*}, A Imani³ and E Fallahi⁴

Received: 6 September 2009 Accepted: 6 June 2010

¹Ph.D Student of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

⁴Professor, University of Idaho, Parma Research and Extension Center, 29603 U of I Lane, Parma, Idaho, 83660, USA.

*Corresponding author: E-mail : tabatabaei@tabrizu.ac.ir

Abstract

Boron toxicity is an important disorder that can limit plant growth in arid and semi-arid environments. It has been proven that use of tolerant rootstocks impede B uptake or transport to the aerial portions of plants. This may alleviate B toxicity in the scion, consequently improves the tolerance to excess B in the root zone. An experiment was conducted to find interactive effect of B toxicity and rootstock on vegetative growth, photosynthetic rate and nutrient concentrations of almond (*Prunus dulcis* Mill.) cv. "Ferragnes" grown in the controlled environment. Three levels of B (0.25, 10, 20 mg/l) from H₃BO₃ and two almond rootstocks (GF₆₇₇, Tuono) were factorially combined in a randomized complete block design with four replicates. The results showed that the higher concentration of B had a significant diminish effects on vegetative and physiological characteristics as well nutrient concentrations of almond. The severity of the adverse effects of boron toxicity varied among rootstocks. Fresh and dry weights of leaf and root, leaf number, leaf area, photosynthetic rate and chlorophyll index was decreased with increasing B levels. Increased B levels led to decreased N, NO₃⁻, P, K in the leaves while, B concentrations were increased. The concentration of B in stem was closely related to the development of B toxicity in rootstocks, imply that the mechanism of tolerance to higher B concentration in Tuono is associated with exclusion mechanism such as restrict B transport from root system to aerial parts. Hence, under excess B conditions Tuono can be used as tolerant rootstock for different almond cultivars.

Keywords: Boron toxicity, Photosynthesis, *Prunus dulcis* Mill, Scion-rootstock combination

مقدمه

حد آن در محیط رشد، مسمومیت گیاه را در پی خواهد داشت (اراسلان و همکاران 2007). بر اساس تحقیقات صورت گرفته، کاهش رشد رویشی و عملکرد در شرایط سمیت بور در بسیاری از گیاهان به اثبات رسیده است (گونز و همکاران 2006). از کل منابع موجود، آب آبیاری مهم‌ترین عامل افزایش سطوح بور در خاک بوده و در اکثر موارد غلظت‌های بالایی از آن در خاک‌های شور و

بادام (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Weeb.) یکی از قدیمی‌ترین محصولات خشکباری بوده که امروزه بیشترین تولید میوه خشکبار تجاری را به خود اختصاص داده است (ایمانی 1379). زیستگاه اصلی بادام به عنوان یک محصول مورد کشت، خاورمیانه (ایران) است (رادنیا 1375). هر چند که بور یک عنصر کم مصرف ضروری محسوب می‌شود، ولی مقادیر بیش از

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی هایدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. بادام رقم فراگنس¹ در اواخر شهریور ماه 1386 بر روی پایه‌های یکساله شامل پایه رویشی دورگ بین گونه‌ای هلو- بادام بنام جی اف- 677² و پایه بذری بادام رقم توونو³ با روش پیوند جوانه سپری (T شکل) پیوند زده شد. پایه بذری بادام رقم توونو از تلاقی بادام خودبارور رقم توونو با بادام خود بارور رقم ژنکو⁴ تحت شرایط گرده افشانی کنترل شده، بدست آمده و در مقایسه با پایه‌های حاصل از گرده‌افشانی آزاد، از یکنواختی ژنتیکی بیشتری برخوردار بوده است. نهال‌ها پس از انجام عمل پیوند و برطرف شدن نیاز سرمایی، در مرحله رکود و به صورت ریشه لخت در اسفندماه به گلخانه منتقل شدند. پس از ضد عفونی و هرس ریشه‌ها، نهال‌ها به‌طور جداگانه در بستری از پرلایت و ورمیکولایت به نسبت (v/v) 1:1 در گلدان‌های پلاستیکی 14 لیتری در محیط کنترل شده کاشته شدند. پس از رشد پیوندک‌ها، نهال‌هایی که از لحاظ اندازه دارای یکنواختی بیشتری بودند، برای آزمایش انتخاب شدند. آزمایش بصورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح بور (0/25، 10، 20mg/l) و دو پایه بادام (GF₆₇₇، Tuono) با چهار تکرار به اجرا درآمد. شش ماه پس از رشد نهال‌ها، تیمارهای آزمایشی به همراه محلول غذایی (هولگند تغییر یافته) به مدت سه ماه اعمال گردیدند. به‌منظور کاهش خطای انسانی، محلول‌دهی بصورت کاملاً اتوماتیک و با استفاده از پمپ‌های زیر آبی و تایمر دیجیتالی دو مرتبه در روز و هر بار به مدت دو دقیقه انجام گرفت. pH محلول‌ها در طول مدت آزمایش با استفاده از اسید نیتریک در محدوده 6/5 تنظیم شد. میزان محلول‌دهی طوری تنظیم شد که مقداری از محلول از ته گلدان‌ها خارج گردد تا در اثر آبشویی، تغییرات EC و pH بسترکاشت به حداقل ممکن برسد. شدت فتوستنز

آب چاه‌های شور دیده می‌شود (نیبل و همکاران 1997). علاوه بر این، زهکشی ضعیف خاک‌های شور می‌تواند سبب تجمع مقادیر بیش از حد بور در محلول خاک شود (اراسلان و همکاران 2007). در مناطق شور، کم آب و خشک کشور نظیر استان‌های کرمان، یزد، قم و نیز جنوب فارس و خراسان که با مشکل شوری مواجه می‌باشند، مقدار بور در محلول خاک بسیار بالا بوده و در آب‌های این مناطق نیز به وفور یافت می‌شود. به‌دلیل وجود بور در آب آبیاری، غلظت بور در برگ‌های مرکبات جهرم و جیرفت گاهی تا حد 300mg/kg dwt و در برگ‌های پسته مناطق رفسنجان و اردکان تا حد 800mg/kg dwt افزایش یافته است (ملکوتی و طباطبایی 1380). غلظت‌های بدون ضرر بور در آب آبیاری حدود 0/3mg/l برای گیاهان حساس (آوکادو، سیب، لوبیا)، 1-2mg/l برای گیاهان نیمه حساس (یولاف، ذرت، سیب زمینی) و 2-4mg/l برای گیاهان مقاوم به سمیت بور (هویج، یونجه، چغندر قند) ذکر شده است (نیبل و همکاران 1997). بادام در ردیف درختان میوه حساس به سمیت بور (آستانه تحمل 0/5-0/75mg/l بور در محلول خاک بدون کاهش رشد رویشی یا عملکرد محصول) قرار می‌گیرد (آیرز و وستکات 1985). اصلاح خاک‌های غنی از بور بسیار مشکل بوده و پایه‌ها می‌توانند تحمل پیوندک را نسبت به سمیت بور افزایش دهند (سوتیروپولوس و همکاران 2006). با استفاده از پایه‌هایی که قابلیت کاهش جذب یا انتقال بور را دارند، می‌توان عملکرد درخت را تحت شرایط مقادیر بالای بور در خاک حفظ نمود. پایه‌های بادام در مقایسه با هلو، تحمل بالاتری نسبت به مقادیر بیش از حد بور در خاک دارند. همچنین تحمل پایه‌های دورگ هلو- بادام، حد واسط پایه‌های بادام و هلو می‌باشد (رادنیا 1375). بنابراین هدف از انجام این تحقیق ارزیابی تأثیر سمیت بور بر خصوصیات رویشی، شدت فتوستنز و جذب عناصر غذایی بادام از طریق مقایسه میزان تحمل پایه‌های مذکور نسبت به سمیت بور بوده است.

¹Ferragnes

²GF₆₇₇ (Inter-specific hybrid clonal rootstock)

³Tuono (Seedling rootstock)

⁴Genco

سپس خاکستر گیاهی با پنج قطره آب مقطر مرطوب گردید و 10 میلی لیتر محلول اسید سولفوریک 36/0 نرمال به آن اضافه شد. در نهایت با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره 42، عصاره گیاهی در ظروف پروپیلنی صاف گردید. غلظت بور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Motic, CI-45240-00, China) در طول موج 420nm اندازه‌گیری شد. غلظت نیتروژن برگ با استفاده از روش کج‌دال اندازه‌گیری شد (بنتون 2001). نمونه‌های خشک و آسیاب شده پس از هضم در دمای 450°C در دستگاه تقطیر با استفاده از سود و اسید بوریک و معرف‌های رنگی تیتر شده و غلظت نیتروژن آنها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر برگ، نمونه‌های خشک گیاهی با اسید نیتریک مخلوط و به مدت 12 ساعت در دمای 100°C داخل اجاق هضم قرار داده شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 430nm، غلظت آن تعیین گردید (بنتون 2001). در مورد پتاسیم، هضم نمونه‌ها مشابه فسفر انجام شده و با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و روش نشر شعله‌ای غلظت آن اندازه‌گیری شد (بنتون 2001). داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های فوق توسط نرم افزار آماری SAS نسخه 8/02 مورد تجزیه آماری قرار گرفته و مقایسه میانگین با استفاده از روش LSD⁵ و در سطح احتمال 1% انجام شد. نمودارها با استفاده از برنامه Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که عکس‌العمل رشدی بادام به سطوح بور و نوع پایه بستگی داشت (جدول 1 و 2). در ترکیب پایه - پیوندی F/GF₆₇₇، سطوح افزایشی بور کاهش معنی‌دار وزن تر، وزن خشک و تعداد برگ را در مقایسه با شاهد نشان داد. علت اصلی کاهش شدید تعداد برگ و به تبع آن وزن تر و خشک برگ F/GF₆₇₇، ریزش شدید برگهای جوان و توقف رشد انتهایی گیاه ناشی از نکروزه شدن و مرگ بافت شاخه در سطح 20mg/l بور و نیز کاهش رشد شاخه و عدم

با استفاده از دستگاه فتوسنتز متر (Walz, Da, IRGA Model1010, Germany)¹ بین ساعات 9 تا 14 در شدت نور ثابت $800 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ و غلظت CO₂ معادل 500mg/l و شاخص کلروفیل نیز با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502, Minolta, Japan) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته، دو ماه پس از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی برگ² (یاماساکی و دیلنبرگ 1999) از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته، نمونه‌برداری گردید و پس از اندازه‌گیری وزن تر (FM)، برگ‌ها به مدت یک ساعت در آب مقطر به حالت غوطه‌ور قرار داده شدند. سپس وزن تورژسانس (TM) آنها اندازه‌گیری شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DM) به مدت 48 ساعت در درجه حرارت 80°C داخل آون قرار داده شدند. در نهایت محتوای رطوبت نسبی برگها از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{LRW} (\%) = [(FM - DM) / (TM - DM)] \times 100$$

در پایان آزمایش برگ‌ها شمارش گردید و سطح کل برگ‌ها و نیز سطح برگ نکروزه با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Li-Cor, Model Li-1300, USA)، اندازه‌گیری گردید و درصد نکروز برگ از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$100 \times (\text{سطح برگ کل} / \text{سطح برگ نکروزه}) = (\%) \text{ نکروزه}$$

وزن تر برگ‌ها و ریشه‌ها بلافاصله پس از برداشت با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه وزن خشک، نمونه‌ها به‌طور جداگانه در داخل آون به مدت 48 ساعت در دمای 80°C قرار داده شده و سپس توزین شدند. سطح ویژه برگ³ از تقسیم سطح برگ کل بر وزن خشک برگ محاسبه گردید. اندازه‌گیری غلظت بور با استفاده از روش آزومتین-اچ⁴ انجام شد (ولف 1974). یک گرم از نمونه خشک گیاهی پس از آسیاب، در داخل بوتله چینی ریخته شد و به مدت 6 ساعت در دمای 550°C در کوره الکتریکی قرار گرفت.

¹Infra Red Gas Analyzer

²Leaf relative water content

³Specific leaf area

⁴Azomethine-H method

⁵Least significant difference

(جدول 1)، ارتباط نزدیک بین تجمع بور در ریشه و قسمت‌های هوایی با تغییرات وزن تر و خشک برگ و ریشه را به وضوح نشان داده است. در ترکیب پایه- پیوندی F/GF₆₇₇ تجمع بور در سطح 20mg/l عمدتاً در اندام‌های هوایی گیاه بوده و در این سطح، کاهش وزن تر و خشک برگ و افزایش وزن تر و خشک ریشه نسبت به شاهد مشاهده گردید. در F/Tuono نیز تجمع بور در سطح 20mg/l بیشتر در بافت ریشه بوده و باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با شاهد شده است. یکی از علایم بارز سمیت بور ممانعت از رشد طولی ریشه می‌باشد، چرا که این عنصر از مهم‌ترین اجزاء تشکیل دهنده دیواره سلولی اولیه بوده و مقادیر بیش از حد آن باعث اختلال در فرآیند ساخت دیواره سلولی می‌شود. مقادیر بیش از حد بور با اثرات فیزیولوژیکی منفی نظیر کاهش تقسیم سلولی و رشد ریشه، رسوب لیگنین و سوبرین، کاهش خروج پروتون از ریشه، افزایش نشت غشاء، تغییر فعالیت مسیره‌های آنتی‌اکسیدانی و تنش اکسیداسیونی همراه می‌باشد (آردیک و همکاران 2009). سطوح افزایشی بور باعث کاهش معنی‌دار شدت فتوسنتز درخت بادام گردیده (شکل 1) که بر حسب نوع پایه متفاوت است، به طوری که شدت این کاهش در

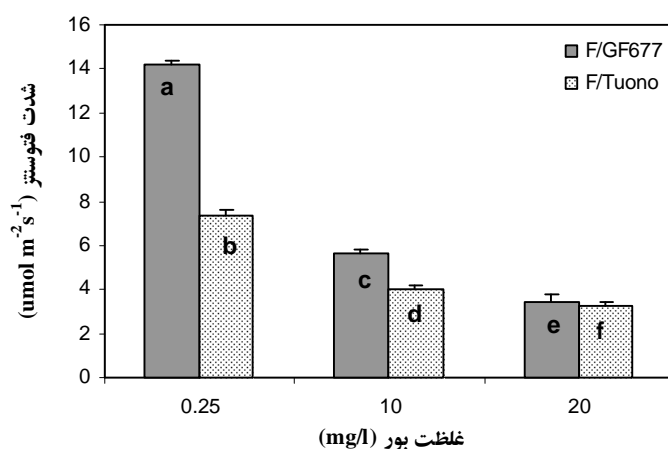
تولید برگهای جدید در سطح 10mg/l به دلیل ممانعت از توسعه مناطق مریستمی بوده است. در F/Tuono وزن تر و خشک برگ در سطح 10mg/l افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته و سپس کاهش یافت و تعداد برگ نیز کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد. نقش مهم بور در انتقال عناصر غذایی از طریق غشاء پلاسمایی گیاهان بطور کامل به اثبات رسیده و به احتمال زیاد سطوح بالای بور بطور غیر مستقیم در تعادل عناصر غذایی گیاهان نقش داشته و از این طریق سبب افزایش یا کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (طارق و موت 2007). تأثیر سمیت بور بر رشد ارقام Manzanillo و Picual زیتون، با کاهش رشد شاخه و ریزش شدید برگها در غلظت‌های 20mg/l و 40 همراه بوده است (بنلوچ و همکاران 1991). همچنین غلظت بالای بور در ترکیبات مختلف پایه- پیوندی زیتون، موجب کاهش سرعت رشد شاخه، طول شاخه‌های جانبی و تعداد برگهای جدید در سطح 10mg/l گردیده است (چارتزیساویدیس و همکاران 2008). در پایه‌های گیلاس CAB- 6P و Gisela-5، سمیت بور باعث کاهش تعداد و وزن تر برگ و نیز طول و وزن تر شاخه در سطح 2mg/l شده است (سوتیروپولوس و همکاران 2006). در انگور، سمیت بور در سطوح بالاتر از 20mg/l ظاهر شده و در بالاترین سطح تیمار بور (30mg/l) وزن خشک برگ و ریشه به طور معنی‌داری کاهش یافته است (گونز و همکاران 2006). وزن تر و خشک ریشه F/GF₆₇₇ تا سطح 10mg/l بور با کاهش معنی‌داری همراه بوده و سپس افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد در سطح 20mg/l نشان داد. در F/Tuono نیز با افزایش سطوح بور، وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با شاهد کاهش یافت. بر اساس یافته‌های محققان، توزیع ماده خشک همانند سایر خصوصیات گیاهان، تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفته و موجب تغییر نسبت شاخساره به ریشه¹ می‌شود (چارتزولاکیس 2005). مقایسه غلظت بور ریشه (شکل 4) و غلظت بور شاخه (شکل 5) با وزن تر و خشک برگ و ریشه در ترکیبات پایه- پیوندی

¹Shoot/ root ratio

جدول ۱- مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری بور با پایه برای وزن تر و خشک برگ و ریشه در بادام

پایه	بور (mg /l)	وزن تر برگ (g plant ⁻¹)	وزن خشک برگ (g plant ⁻¹)	وزن تر ریشه (g plant ⁻¹)	وزن خشک ریشه (g plant ⁻¹)
F/GF ₆₇₇	0/25	119/01	38/99	121/44	38/73
	10	58/52	18/96	88/50	27/31
	20	8/33	3/40	143/75	41/58
F/Tuono	0/25	41/09	10/37	103/25	35/05
	10	57/96	18/35	81/50	28/04
	20	25/46	8/28	72/50	31/80
معنی داری (کمیت LSD)					
تیمار					
بور		7/222 **	2/518 **	10/095 **	5/416 **
پایه		5/009 **	2/056 **	8/242 **	4/422 *
بور × پایه		10/219 **	3/561 **	14/276 **	7/660 ^{ns}
ضریب تغییرات (%)		11/10	12/21	7/88	12/75

** - معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * - معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و ns: غیرمعنی دار



شکل ۱- شدت فتوستنزی برگ در ترکیب‌های تیماری بور و پایه در دو پایه بادام

هم عوامل روزنه‌ای و هم عوامل غیر روزنه‌ای¹ باعث کاهش شدت فتوستنزی بر اثر سمیت بور می‌شوند. (پاپاداکیس و همکاران 2004). اندازه‌گیری میزان مقاومت روزنه‌ای انگور نشان داده که در اثر سمیت بور روزنه‌ها بسته شده و مقاومت روزنه‌ای افزایش یافته است (گونز و همکاران 2006). کاهش معنی‌دار فتوستنزی خالص کیوی در اثر غلظت بالای بور، در حالی صورت

F/GF₆₇₇ نسبت به شاهد بیشتر از F/Tuono بوده است. حساسیت به سمیت بور مربوط به ایجاد اختلال در برخی از فرآیندهای متابولیکی از طریق کاهش در توسعه مناطق مریستمی، گسترش سطوح نکروزه در بافت‌های بالغ (کاهش ظرفیت فتوستنزی) و کاهش ذخایر فتوستنزی مناطق در حال رشد گیاه و نیز تغییرات قابل ملاحظه در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها می‌باشد (یرمی‌هاو و بنگال 2006 و اراسلان و همکاران 2007).

¹Stomatal and non-stomatal factors

و حجم نسبی کلروپلاست سلولهای مزوفیل برگ شده است. یافته‌های جدید نیز نشان دهنده تخریب سیستم غشایی کلروپلاست در اثر سمیت بور بوده است (پاپاداکیس و همکاران 2004). سمیت بور اثر معنی‌داری بر محتوای رطوبت نسبی برگ (LRWC) نداشته، ولی بین پایه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول 2). کاهش LRWC، در نتیجه محدودیت دسترسی به آب جهت فرآیند توسعه سلولی بوده و نشانگر کاهش تورژسانس سلول می‌باشد (بیلدیریم و همکاران 2009). در زیتون کاهش رشد رویشی ناشی از سمیت بور، به احتمال زیاد مربوط به کاهش شدت فتوسنتز و کارایی مصرف آب بوده است (چاتزیسایویدیس و همکاران 2008). محتوای رطوبت نسبی برگ گوجه‌فرنگی، در غلظت های 2 mg/l و 4 بور در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داده است (کایا و همکاران 2009). با افزایش سطوح بور، درصد نکرورگی برگ در F/GF_{677} افزایش و سپس کاهش یافت. در حالیکه در $F/Tuono$ با روند افزایشی همراه بود. علت کاهش درصد نکرورگی برگ ترکیب پایه - پیوندی F/GF_{677} در سطح 20mg/l بور، مربوط به ریزش شدید برگ‌های جوان بوده است. گسترش مناطق نکرورگی در بافت‌های بالغ به واسطه کاهش ظرفیت فتوسنتز، باعث کاهش ذخایر فتوسنتزی مناطق در حال رشد شده و کاهش رشد گیاه را در پی خواهد داشت (تریپلر و همکاران 2007).

گرفته که غلظت CO_2 داخل سلولی و هدایت روزنه‌ای به ترتیب افزایش یافته یا تغییر نکرده است. این نتایج نشان داده است که کاهش فتوسنتز خالص به دلیل عوامل روزنه‌ای نبوده، بلکه به طور عمده به عوامل غیر روزنه‌ای نظیر تغییر در کارایی کربوکسیلاسیون، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، غلظت کلروفیل، فعالیت آنزیم های فتوسنتزی و غیره نسبت داده شده است. همچنین یکی از دلایل احتمالی کاهش فتوسنتز، آسیب وارد شده به ساختار تیلاکوئیدها بوده که انتقال الکترون‌های فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سوتیروپولوس و همکاران 2006). اثرات اولیه سمیت بور در کدوی تابستانه (*Cucurbita pepo*)، شامل کاهش غلظت کلروفیل برگ هم‌زمان با گسترش سمیت بور بوده که به تبع آن رشد، سطح برگ و میزان تثبیت CO_2 نیز کاهش یافته است. در نتیجه، شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در برگ‌ها کاهش معنی‌داری را نشان داده و تمامی این اثرات درست بلافاصله قبل از گسترش علائم ظاهری سمیت بور بروز پیدا کرده است (نیبل و همکاران 1997). اثر متقابل بور و پایه بر سطح ویژه برگ در هر دو ترکیب پایه - پیوندی معنی‌دار بوده است (جدول 2). برگ نارنگی کلماتین به دلیل سمیت بور، دستخوش برخی تغییرات ساختاری نظیر کاهش ضخامت برگ در اثر کاهش ضخامت پارانشیم حفره‌ای و عدم سازماندهی سلولهای مزوفیل گردیده است. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داده است که سمیت بور باعث کاهش معنی‌دار طول، عرض

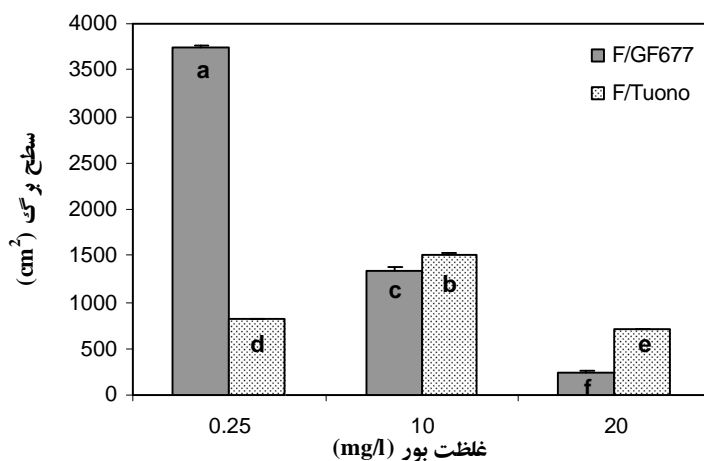
جدول ۲- مقایسه میانگین ترکیب های تیماری بور با پایه برای تعداد، سطح ویژه برگ، محتوای رطوبت نسبی و درصد نکروزه شدن برگ در بادام

پایه	بور (mg/l)	تعداد برگ	سطح ویژه برگ (cm ² g ⁻¹)	محتوای رطوبت نسبی (%)	نکروزه برگ (%)
F/GF ₆₇₇	۰/۲۵	۳۶۶/۰۰	۹۶/۶۵	۹۳/۱۶	۰/۰۰
	۱۰	۱۴۹/۳۳	۷۱/۰۳	۹۱/۸۰	۱/۱۱
	۲۰	۳۴/۰۰	۷۳/۱۷	۸۹/۷۹	۰/۷۱
F/Tuono	۰/۲۵	۱۰۶/۰۰	۷۸/۹۷	۹۶/۱۷	۰/۰۰
	۱۰	۱۰۱/۶۷	۸۳/۰۷	۹۱/۶۴	۰/۷۱
	۲۰	۸۴/۳۳	۸۶/۸۵	۹۳/۹۵	۱/۳۱
معنی داری (کمیت LSD)					
تیمار					
بور		۶/۲۱۹**	۱۰/۳۰۰ ^{ns}	۴/۸۹۸ ^{ns}	۰/۱۰۶**
پایه		۵/۰۷۸**	۸/۴۰۹ ^{ns}	۳/۹۹۹*	۰/۰۸۶ ^{ns}
بور × پایه		۸/۷۹۵**	۱۴/۵۶۶**	۶/۹۲۷ ^{ns}	۰/۱۵۰**
ضریب تغییرات (%)		۳/۵۲	۱۰/۰۳	۴/۲۲	۱۳/۲۰

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns}: غیر معنی دار

فرآیندهای متابولیکی نظیر کاهش توسعه مناطق مریستمی بوده که باعث کاهش سطح برگ در گیاهان می شود (تریپلر و همکاران 2007). به علاوه غلظت بالای بور با جلوگیری از انبساط دیواره سلولی و رشد ریشه و نیز کاهش شدید سطح برگ و به تبع آن ظرفیت

همان گونه که در شکل 2 مشاهده می شود، کاهش سطح برگ F/GF₆₇₇ در مقایسه با شاهد و نسبت به F/Tuono به ویژه در سطح 20mg/l بور، ناشی از توقف رشد رویشی و ریزش شدید برگ در اثر مقادیر بیش از حد بور بوده است. حساسیت نسبت به سمیت بور ظاهراً مربوط به ایجاد اختلال در برخی



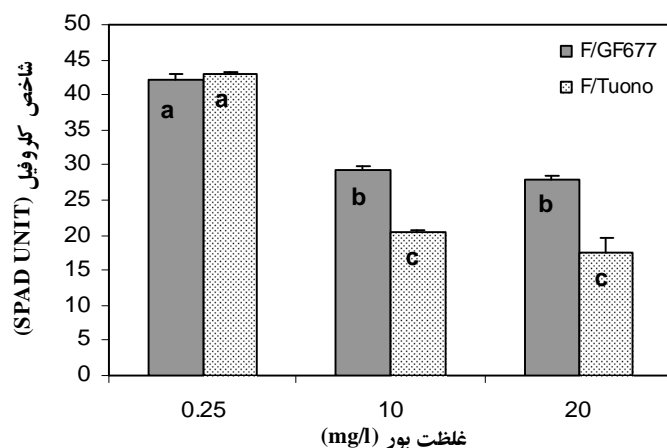
شکل ۲- مقادیر سطح برگ در ترکیب های تیماری بور و پایه در بادام

به شاهد افزایش و سپس کاهش یافت. افزایش سطح برگ احتمالاً ناشی از اثرات مثبت بور در مراحل اولیه آزمایش، قبل از افزایش غلظت بور برگ و بروز علائم

فتوسنتز، می تواند باعث کاهش رشد کلی گیاه شود (چاتزیساویدیس و همکاران 2008). در F/Tuono با افزایش سطوح بور، سطح برگ در تیمار 10mg/l نسبت

داخل گیاهان تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش یا افزایش عملکرد ماده خشک می‌گردد (طارق و موت 2007).

ظاهری سمیت بور بوده است. از آنجایی که سطوح بالای بور هم تأثیر منفی و هم مثبت بر روی جذب عناصر غذایی دارد، بنابراین علاوه بر مقادیر نسبی هر یک از عناصر غذایی، تعادل بین عناصر غذایی معینی را در



شکل ۳- شاخص کلروفیل برگ در ترکیب‌های تیماری بور و پایه در بادام

نداد. قابلیت انواع اکسیژن‌های فعال (ROS) برای ایجاد آسیب فتواکسیداتیو به ملکول‌های آلی، شاید بتواند آسیب‌های ساختاری به کلروپلاست و کاهش کلروفیل برگ در گیاهان را توجیه نماید (پاپاداکیس و همکاران 2004).

تأثیر سطوح مختلف بور بر شاخص کلروفیل برگ در هر دو ترکیب پایه - پیوندی (شکل 3) نشان داد که با افزایش سطوح بور تا سطح 10mg/l، شاخص کلروفیل نسبت به شاهد کاهش یافت، ولی در سطح 20mg/l کاهش معنی‌داری را در مقایسه با سطح 10mg/l نشان

جدول ۳- مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری بور با پایه برای غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و نترات برگ در بادام

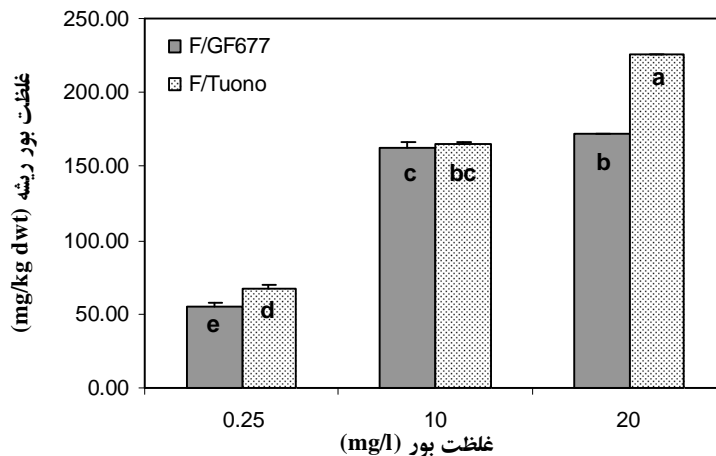
پایه	بور (mg/l)	نیتروژن (mg/g dwt)	فسفر (mg/g dwt)	پتاسیم (mg/g dwt)	نترات (mg/kg dwt)
F/GF ₆₇₇	0/25	35/05	10/58	53/34	44/00
	10	29/45	10/03	50/92	40/00
	20	22/81	8/67	41/25	39/00
F/Tuono	0/25	31/70	9/47	54/95	45/50
	10	23/18	8/30	38/84	39/75
	20	18/25	6/19	37/77	39/50
تیمار	معنی داری (کمیت LSD)				
بور		2/646 **	0/837 **	1/329 **	1/699 **
پایه		2/161 **	0/684 **	1/085 **	1/362 ns
بور × پایه		3/742 ns	1/184 ns	1/879 **	2/360 ns
ضریب تغییرات (%)		7/86	7/50	2/28	3/21

** : معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * : معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و ns : غیر معنی دار

(طارق و موت 2007). در تنش اکسیداسیونی، تولید مقادیر فراوان انواع اکسیژن فعال باعث صدمه دیدگی غشاء و در نهایت مرگ سلول‌های ریشه می‌گردد (آردیک و همکاران 2009). همچنین سمیت بور با کاهش تعرق در گیاهان همراه بوده (تریپلر و همکاران 2007) و به دلیل کاهش انتقال آب از طریق ریشه، جذب عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش هدایت هیدرولیکی و به تبع آن رشد جدید ریشه نیز می‌تواند منجر به کاهش جذب عناصر غذایی شده و تا حدودی کاهش رشد گیاهان را توجیه نماید (آپوستول و زویزک 2004). ممانعت از رشد ریشه در اثر سمیت بور به واسطه کاهش سطح ریشه و نیز امکان جذب آب و عناصر غذایی، تأثیر منفی بر رشد گیاهان خواهد داشت (رید و همکاران 2004). افزودن برخی از عناصر غذایی نظیر کلسیم کمی فراتر از حد معمول به محیط رشد گیاهان، باعث کاهش محتوای بور و نیز شدت اثرات نامطلوب ناشی از سمیت بور شده و نشان از وجود رقابت در جذب بین بور و برخی از عناصر غذایی دارد (کایا و همکاران 2009). در نهایت تأثیر بور بر رفتار عناصر غذایی بسیار پیچیده بوده و ارتباط زیادی با گونه یا ژنوتیپ محصول، بخش‌هایی از گیاه که مورد تجزیه قرار گرفته، مراحل مختلف رشد گیاه و نوع محیط کشت استفاده شده، دارد (طارق و موت 2007). علایم ظاهری سمیت بور در بادام بر حسب غلظت بور و نوع پایه متفاوت بود. در F/GF_{677} ، علایم ظاهری سمیت بور ابتدا در غلظت 20mg/l و به شکل لکه‌های کلروزه و نکروزه بین رگبرگی، چین خوردگی لبه‌ها، تاخوردگی به سمت داخل و فنجانی شدن برگ‌های جوان و ایجاد لکه‌های نکروزه واقع در قسمت انتهایی و قاعده

با افزایش سطوح بور، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ بطور معنی‌داری کاهش یافته و بین پایه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. غلظت نیترات برگ نیز در هر دو پایه کاهش معنی‌داری داشت، هر چند که بین پایه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول 3). از آنجایی که مقادیر بیش از حد بور می‌تواند باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای متابولیکی گردد، بنابراین بر روی جذب سایر عناصر غذایی توسط گیاهان تأثیر می‌گذارد. هر چند اطلاعات اندکی در ارتباط با اثرات سمیت بور بر آسیمیلاسیون نیتروژن وجود دارد، ولی مشخص شده که سمیت بور بواسطه رابطه آنتاگونیسمی بین بور و مولیبدن، باعث جلوگیری از فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز¹ در گیاهان شده است (سرویلا و همکاران 2009). بر اساس تحقیقات متعدد، اثرات متقابل بین فسفر و بور در اکثر محصولات کشاورزی بسیار قابل ملاحظه بوده و مقادیر بالای هر کدام از این دو عنصر در محیط رشد، باعث کاهش محتوای دیگری در داخل بافت گیاه شده است (کایا و همکاران 2009). در پایه سیب MM 106، مقادیر بالای بور به واسطه تأثیر منفی بر روی خصوصیات غشاء پلاسمایی، باعث کاهش جذب پتاسیم شده است (موتاریدو و همکاران 2004). تاکنون علت سمیت بور بر جذب نیترات مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته و کاهش غلظت نیترات در گیاه گوجه‌فرنگی، احتمالاً به واسطه تغییرات الکتروشیمیایی غشاء پلاسمایی بوده است (سرویلا و همکاران 2009). با توجه به عدم شناخت دقیق مکانیسم‌های شیمیایی و فیزیولوژیکی مرتبط با اثرات بور بر قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی، تاکنون بین محققان مختلف توافقی مبنی بر اثر اختصاصی بور بر رفتار عناصر غذایی در محیط ریشه و یا داخل گیاه حاصل نشده و برخی از مطالعات گویای آن است که اثرات بور به مقدار کاتیون‌ها، آنیون‌ها، نوع و ظرفیت یون‌های داخل گیاه مربوط می‌باشد. به نظر برخی از پژوهشگران، تأثیر منفی سطوح بالای بور به دلیل اثرات سمی بور بر سلول‌های ریشه بوده که باعث ایجاد اختلال در فرآیند جذب عناصر غذایی می‌شود

¹Nitrate reductase activity



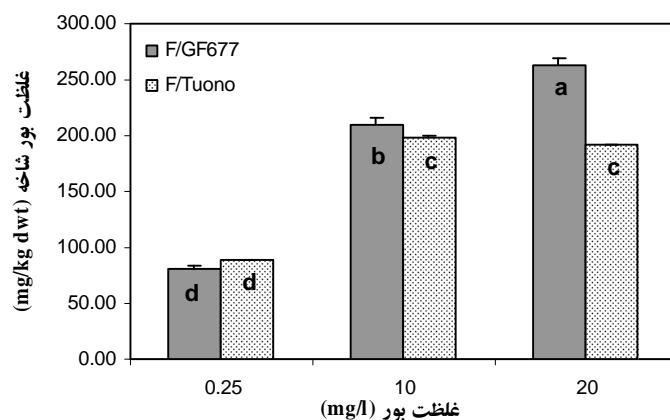
شکل ۴- غلظت بور ریشه در ترکیب‌های تیماری بور و پایه در بادام

شدت بیشتر بروز داده و تحمل کمتری نسبت به سمیت بور نشان داد، بطوریکه در سطح 40mg/l به سرعت از بین رفت (بنلوچ و همکاران 1991). بر خلاف تصور عموم، سوختگی برگ علامت ظاهری سمیت بور در تمام گونه‌ها نمی‌باشد. در جنس‌هایی که بور در آوند آبکش آنها متحرک می‌باشد (*Malus*, *Pyrus*, *Prunus*) بور به جای تجمع در انتهای مسیر تعرق (برگ‌های پیر) در مناطق در حال رشد گیاه (برگ‌های جوان و سرشاخه‌ها) تجمع می‌یابد (نییل و همکاران 1997).

یافته‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که غلظت بور ریشه و شاخه با توجه به سطوح مختلف بور و نوع پایه بسیار معنی‌دار است (اشکال 4 و 5). غلظت بور شاخه F/Tuono تا سطح 10mg/l نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافته و در سطح 20mg/l کاهش غیر معنی‌داری را در مقایسه با 10mg/l نشان داد. در مقابل، غلظت بور شاخه در F/GF677 افزایش معنی‌داری را در تمام سطوح بور در مقایسه با شاهد از خود نشان داد. غلظت بور ریشه F/Tuono در تمامی سطوح نسبت به شاهد افزایش یافت، در حالیکه در F/GF677 تا سطح 10mg/l در مقایسه با شاهد افزایش و در 20mg/l افزایش چندانی نسبت به 10mg/l نشان نداد. این نتایج

شاخه‌های اصلی و فرعی و پارگی پوست ناشی از ترشح صمغ از نقاط نکروزه مشاهده شد.

با گذشت زمان علایمی همچون نقاط نکروزه در طول رگبرگ اصلی واقع در پشت برگ، شروع ریزش شدید برگ‌ها از بالا به طرف پایین شاخه، نکروزگی و خشکیدگی سرشاخه‌های اصلی و فرعی و گسترش آن به سمت پایین و در نهایت گسترش لکه‌های نکروزه و ترشح صمغ در تمام طول شاخه و در قسمت‌هایی از تنه ظاهر گردید. برخی از این علایم نیز به شکل خفیف‌تری در غلظت 10mg/l در این ترکیب پایه - پیوندی مشاهده گردید. در F/Tuono، علایمی همچون لکه‌های نکروزه بین رگبرگی و فنجانی شدن برگ‌های جوان و نکروزگی بخش اندکی از سرشاخه اصلی مشاهده شد. این ترکیب پایه - پیوندی برخی علایم ظاهری سمیت بور نظیر ریزش برگ، خشکیدگی سرشاخه‌های فرعی و ترشح صمغ در شاخه و تنه را نشان نداد. در درخت زیتون، علایم ظاهری سمیت بور با کلروز حاشیه برگ‌های بالغ شروع گردید و در ادامه به سمت شاخه گسترش پیدا کرد، به طوری که نکروزه بافت به طور عمده در یک سوم انتهایی سطح شاخه مشاهده شد. همچنین رقم Manzanillo به علت تجمع بیشتر بور در برگ نسبت به رقم Picual، علایم ظاهری سمیت بور را زودتر و با



شکل ۵- غلظت بور شاخه در ترکیب‌های تیماری بور و پایه در بادام

می‌باشد که اغلب در حواشی و نوک برگ‌های بالغ ظاهر شده و این علائم نشان دهنده توزیع بور در اکثر گونه های گیاهی و نیز بیانگر تجمع بور در منتهی‌الیه مسیر جریان تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد (نییل و همکاران 1977). جدا از اینکه الگوی متداول توزیع بور و نیز ظهور علائم سمیت بور دال بر عدم تحرک آن در اکثر گونه‌های گیاهی می‌باشد، اما به نظر نمی‌رسد که این قضیه در مورد گونه‌های موجود در جنس‌های (*Prunus*، *Malus*، *Pyrus*)، که در برگ‌گیرنده گونه‌های مهمی از درختان میوه و آجیلی می‌باشند، صدق نماید. به عبارت دیگر، علائم ظاهری آسیب برگی ناشی از سمیت بور که مختص اکثر گیاهان می‌باشد، به صورت شاخص در درختان میوه هسته‌دار دیده نمی‌شود. محققان بسیاری ثابت نموده‌اند که این جنس‌ها مقادیر بالایی از بور را در برگ‌های خود انباشته نکرده و بنابراین گسترش خشکیدگی سر شاخه‌ها و ترشح صمغ، ناشی از سمیت بور می‌باشد. هنگامی که بادام، هلو یا آلو در معرض سطوح بالایی از بور در محیط ریشه قرار گرفتند، مکان های عمده تجمع بور در میوه، شاخه‌های جوان و قسمت های انتهایی شاخساره بود. در صورتی که اولین علائم سمیت بور در شاخه‌های جوان و میوه‌ها مشاهده شد. تحرک بالای بور در این جنس‌ها شاید به این دلیل است که سوربیتول عمده‌ترین کربوهیدرات موجود در گونه های این جنس‌ها می‌باشد، بنابراین تحرک بور در زیر خانواده‌های *Maloideae* و *Prunoideae* به دلیل

حاکمی از آن است که پایه Tuono از طریق مکانیسم تدافعی¹ نظیر ایجاد محدودیت در انتقال بور از سیستم ریشه به قسمت‌های هوایی به واسطه انباشت بور در بافت ریشه، قابلیت تحمل سمیت بور را به پیوندک منتقل نموده است. بسیاری از ژنوتیپ‌های متحمل به بور، قادرند که غلظت بور شاخ و برگ خود را در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس، در سطح پایینی حفظ نمایند (نییل و همکاران 1997). غلظت بور شاخه تا حدود زیادی با گسترش سمیت بور در جنس *Prunus* مطابقت داشته و می‌تواند به عنوان شاخصی برای رتبه‌بندی پایه‌ها نسبت به تحمل بور مورد استفاده قرار گیرد. همچنین اثر مقادیر بیش از حد بور بر سمیت بور، تجمع بور، غلظت بور ساقه و شدت علائم ظاهری مسمومیت بور در شش پایه *Prunus* نشان داد که مرگ ساقه (مهم‌ترین علائم ظاهری مشاهده شده) منحصراً به دلیل تجمع بور در بافت ساقه تمام پایه‌ها بوده است. تجمع و ظهور علائم ظاهری سمیت بور با گذشت زمان افزایش یافته و بر طول عمر پایه‌ها اثر گذاشته است. همچنین هیچ گونه علائمی از مسمومیت بور در بافت برگ مشاهده نشد. پایه‌های *Prunus* مورد مطالعه در رابطه با تجمع بور و نیز حساسیت نسبت به سمیت بور تفاوت‌های چشمگیری را نشان دادند (المتاعیم و همکاران 1994). در بین انواع مختلف گونه‌های گیاهی، شاخص‌ترین علامت ظاهری سمیت بور، سوختگی برگ و لکه‌های کلروزه و نکروزه

¹Exclusion mechanism

مقایسه با برگ، به عنوان شاخص دقیق تری به منظور ارزیابی سمیت بور در بادام تلقی می شود. در این آزمایش علایم ظاهری سمیت بور در غلظتی از بور معادل با 140mg/kg dwt در برگ و 190mg/kg dwt در شاخه بادام رقم فراگنس مشاهده شد.

تشکر و قدردانی

در پایان از سرکار خانم دکتر لیلا سیدلر فاطمی به جهت همکاری در کلیه مراحل انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی می گردد.

تشکیل و انتقال کمپلکس بور- سوربیتول می باشد (براون و هو 1996). در نهایت می توان گفت گونه هایی که در آنها بور به طور متحرک درآوند آبکش وجود دارد، علایم ظاهری سمیت بور با نابسامانی های میوه همچون صمغ زدگی و نکروزه داخلی همراه بوده و نکروزه پوست نیز به نظر می رسد که در اثر مرگ بافت های کامبیومی و خشکیدگی شاخه ها باشد (نیبل و همکاران 1997). با توجه به بروز علایم ظاهری سمیت بور در برگ های جوان و گسترش آن به سمت شاخه ها و تنه، تحرک بور در آوند آبکش بادام مطابق با تحقیقات انجام شده در این زمینه (براون و هو 1996 و براون و شلپ 1997) به اثبات رسیده و می توان گفت که غلظت بور شاخه در

منابع مورد استفاده

- ایمانی ع، 1379. اصلاح بادام (ترجمه). چاپ اول. نشر آموزش کشاورزی، کرج.
 رادنیاح، 1375. پایه های درختان میوه (ترجمه). چاپ اول. نشر آموزش کشاورزی، کرج.
 ملکوتی م و طباطبایی س ج، 1380. مدیریت تغذیه بهینه در باغ های میوه کشور (مجموعه مقالات). معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی. انتشارات سنا.

Alpaslam M and Gunes A, 2001. Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. *Plant and Soil* 236: 123-128.

Apostol KG, and Zwiazek JJ, 2004. Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. *Environmental and Experimental of Botany* 51: 145-153.

Ardic M, Sekmen AH, Turkan I, Tokur S, and Ozdemir F, 2009. The effects of boron toxicity on root antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Plant and Soil* 314: 99-108.

Ayers RS, and Westcot DW, 1985. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, FAO irrigation and drainage. Paper 29.

Benloch M, Arboleda F, Barranco D, and Fernandez-Escobar R, 1991. Response of young olive trees to sodium and boron excess in irrigation water. *Hort Science* 26(7): 867-870.

Benton J, 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, New York.

Brown PH, and Hu H, 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany* 77: 497-505.

Brown PH, and Shelp BJ, 1997. Boron mobility in plants. *Plant and Soil* 193: 85-101.

- Cervilla LM, Blasco B, Rios JJ, Rosales MA, Rubio-Wilhelmi MM, Sanches-Rodrigues E, Romero L, and Ruiz JM, 2009. Response of nitrogen metabolism to boron toxicity in tomato plants. *Plant Biology* 11: 671-677.
- Chartzoulakis KS, 2005. Salinity and olive: growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. *Agricultural Water Management* 78: 108-121.
- Chatzissavvidis C, Therios I, Antonopoulou C, and Dimassi K, 2008. Effect of high boron concentration and scion-rootstock combination on growth and nutritional status of olive plants. *Journal of Plant Nutrition* 31: 638-658.
- El-Motaium R, Hu H, and Brown PH, 1994. The relative tolerance of six *Prunus* rootstocks to boron and salinity. *Journal of American Society for Horticultural Science* 119: 1169-1175.
- Eraslan F, Inal A, Gunes A, and Alpaslam M, 2007. Boron toxicity alters nitrate reductase activity, proline accumulation, membrane permeability and mineral constituents of tomato and pepper plants. 2007. *Journal of Plant Nutrition* 30: 981-994.
- Gunes A, Soylemezoglu G, Inal A, Bagci EG, Coban S, and Sahin O, 2006. Antioxidant and stomatal response of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae* 110: 279-284 .
- Kaya C, Levent Tuna A, Dikilitas M, Ashraf M, Koskeroglu S, and Guneri M, 2009. Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. *Scientia Horticulturae* 121: 284-288.
- Mouhtaridou GN, Sotiropoulos TE, Dimassi KN, and Therios IN, 2004. Effects of boron on growth, and chlorophyll and mineral contents of shoots of the apple rootstock MM 106 cultured *in vitro*. *Biologia Plantarum* 48(4): 617-619.
- Nable RO, Banuelos GS, and Paull JG, 1997. Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193: 181-198.
- Papadakis IE, Dimassi KN, Bosabadilis AM, Therios IN, Patakas A, and Giannakoula A, 2004. Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstock. *Plant Science* 166: 539-547.
- Reid R, Hayes JE, Post A, Stangoulis JCR, and Graham RD, 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell and Environment* 25: 1405-1414.
- Tariq M, and Mott CJB, 2007. Effect of boron on the behavior of nutrients in soil-plant system-review. *Asian Journal of Plant Science* 6(1): 195-202.
- Sotiropoulos TE, , Therios IN, Almaliotis D, Papadakis I, and Dimassi N, 2006. Response of cherry rootstocks to boron and salinity. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1691- 1698
- Tripler E, Ben-Gal A, and Shani U, 2007. Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L.,cv. Medjool). *Plant and Soil* 297:147-155
- Wolf B, 1974. Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 5: 39-44.

- Yamasaki S, and Dillenburg LC, 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista Brasilian Fisiologia Vegetal, 11: 69-75.
- Yermiyahu U, and Ben- Gal A, 2006. Boron toxicity in grapevine. Hort Science 41 (7): 1698-1703.
- Yildirim E, Karlidag H, and Turan M, 2009. Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. Plant Soil and Environment 55(5): 213-221.